

## بررسی عددی تأثیر جزئیات چشمه اتصال در عملکرد اتصالات تیر فولادی به ستون بتنی در ستونهای گوشه

علی عظیمزاده کلخوران<sup>۱</sup>، عبدالله کیوانی صومعه<sup>۲</sup>، نادر هویدائی<sup>\*</sup>

۱- کارشناس ارشد عمران سازه، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران

۲- استادیار گروه عمران، دانشگاه شهید مدنی آذربایجان، تبریز، ایران

### چکیده

مشاهده ساختمان‌های آسیب‌دیده در برابر زلزله نشان داده است که تحت بارهای لرزه‌ای، اتصالات تیر به ستون آسیب‌پذیرترین المان سازه‌ای بوده و نسبت به سایر اعضای سازه‌ای به توجهات خاص در طرح و اجرا نیاز دارد. از آنجایی که در سازه‌های با اتصالات تیر فولادی - ستون بتن آرمه (RCS) از دو نوع مصالح مختلف در چشمه اتصالات استفاده می‌شود، لذا جزئیات اتصال این نوع سازه‌ها می‌تواند نقشی اساسی در عملکرد کلی اتصال داشته باشد. بطور کلی اتصالات سازه‌های RCS به دو دسته تقسیم می‌شوند: اتصال نوع تیر پیوسته و اتصال نوع ستون پیوسته. هدف از این مقاله تمرکز بر روی چشمه اتصالات RCS از نوع ستون پیوسته و مقایسه عملکرد و تأثیر سخت‌کننده‌های موازی و قطری با یکدیگر در خصوص نحوه توزیع تنش-کرنش و خرابی بتن ناشی از بارگذاری چرخه‌ای در چشمه اتصال می‌باشد. برای این منظور اتصالات RCS ستون گوشه با جزئیات مختلف در چشمه اتصال، با استفاده از نرم افزار آباکوس ۲ مدل‌سازی شده و مورد تحلیل قرار گرفتند. نتایج حاصل از تحلیل المان محدود نشان داد که به‌طور کلی سخت‌کننده‌های موازی اثر محصورکنندگی بهتری از خود نشان می‌دهند، لکن عملکرد سخت‌کننده‌های قطری از لحاظ مقاومت و شکل‌گیری مفصل پلاستیک در اتصال بهتر می‌باشد. همچنین نتایج نشان داد که افزایش ضخامت سخت‌کننده باعث بهبود رفتار چشمه اتصال شده و اندیس خرابی آن را کاهش می‌دهد. همچنین افزایش ضخامت کاورپلیت عملکرد اتصالات را از لحاظ مقاومت و شکل‌گیری مفصل پلاستیک بهبود می‌بخشد.

کلمات کلیدی: چشمه اتصال، سخت‌کننده موازی، سخت‌کننده قطری، تنش، خرابی، اتصال RCS

سابقه مقاله:

شناسه دیجیتال:

دریافت	بازنگری	پذیرش	انتشار آنلاین	چاپ	شناسه دیجیتال
۱۳۹۶/۷/۰۶	۱۳۹۶/۱۲/۰۱	۱۳۹۷/۰۲/۱۷	۱۳۹۷/۰۲/۱۷	۱۳۹۸/۱۰/۱	10.22065/jsce.2018.99622.1341
					doi: https://10.22065/jsce.2018.99622.1341

\*نویسنده مسئول: نادر هویدائی

پست الکترونیکی: Hoveidaei@azaruniv.ac.ir

# Numerical investigation of the effect of joint core details on the performance of reinforced concrete column to steel beam connection in corner columns

Ali Azimzadeh<sup>1</sup>, Abdullah Keyvani<sup>2</sup>, Nader Hoveidaei<sup>2\*</sup>

1- Master of Science, dep. Civil Engineering, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran

2- Assistant Professor, dep. Civil Engineering, Azarbaijan Shahid Madani University, Tabriz, Iran

## ABSTRACT

The past severe earthquakes around the world have shown that the beam to column connection is prone to failure. Therefore, significant provisions should be considered in the design of the connection. RCS moment-resisting frame systems, consisting of Reinforced Concrete (RC) columns and Steel (S) beams, take advantage of the inherent stiffness and damping, as well as low-cost of concrete, the lightweight and construction efficiency of structural steel. Since two types of materials including steel and concrete are used in a RCS system, the detail of the connection plays a significant role on the overall performance of the system. In general, there are two types of RCS connections, column through type & beam through type. The main objective of this study is to investigate the effect of parallel and diagonal stiffeners on stress-strain propagation and concrete damage in column through type RCS connections. For this purpose, RCS connections with different joint details were modeled and analyzed in ABAQUS. Finite element analyses results showed that parallel stiffeners are more capable to provide confinement in comparison to the diagonal types. However, the performance of diagonal stiffeners in terms of strength and plastic hinge formation in the joint is better than parallel stiffeners. Increase of stiffener thickness causes to improve the performance of joint core and decreases its damage level. Furthermore, increasing in cover-plate thickness improves the performance of connections in terms of strength and plastic hinge formation.

## ARTICLE INFO

**Receive Date:** 28 September 2017

**Revise Date:** 20 February 2018

**Accept Date:** 07 May 2018

## Keywords:

Joint core,  
Parallel stiffener,  
Diagonal stiffener,  
Stress,  
Damage,  
RCS connection

All rights reserved to Iranian Society of Structural Engineering.

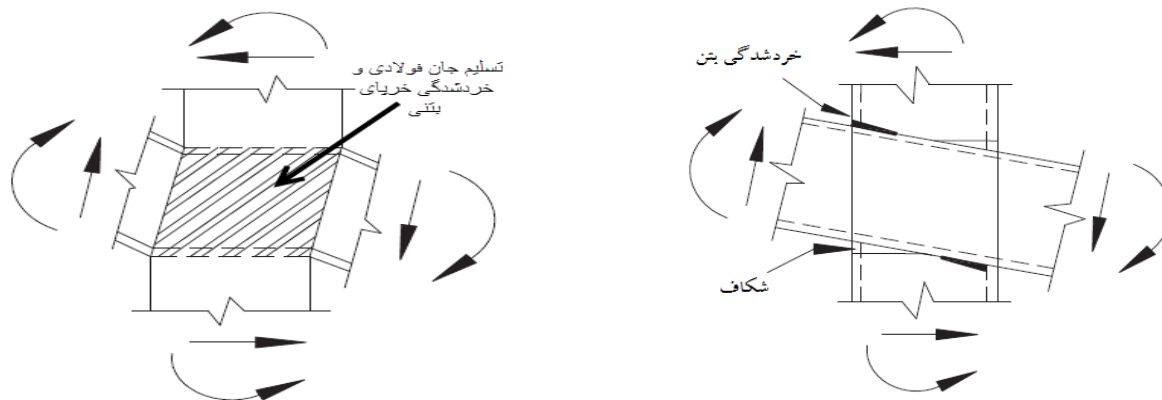
10.22065/jsce.2018.99622.1341

\*Corresponding author: Nader Hoveidaei  
Email address: Hoveidaei@azaruiniv.ac.ir

## ۱- مقدمه

با توجه به اینکه در اتصالات تیر فولادی به ستون بتنی (RCS) از دو نوع مصالح مختلف در چشمه اتصال استفاده می‌شود لذا، مهم‌ترین بخش در سازه‌های RCS اتصالات آنها می‌باشد. بطور کلی اتصالات سازه‌های RCS به دو دسته تقسیم می‌شوند: اتصال نوع تیر پیوسته و اتصال نوع ستون پیوسته (شکل ۱). در اتصال نوع تیر پیوسته که تیر بصورت ممتد از ناحیه چشمه اتصال عبور می‌کند، اتصال رفتار شکل پذیرتری تحت بارگذاری لرزه‌ای از خود نشان می‌دهد، با این حال، اتصال خمشی متقاطع (عمود بر تیر ممتد) در ناحیه چشمه اتصال ممکن است لنگر بسیار زیادی را تحمل کند. در اتصال نوع ستون پیوسته که روش ساخت آسان تری دارد تیرهای فولادی به وسیله کاورپلیت و سخت کننده به ستون متصل می‌شوند و انتقال نیرو از تیر به ستون توسط این دو عضو صورت می‌گیرد [۱]. تحقیقات گسترده‌ای در طول چند دهه اخیر اشاره بر این دارند که چنین سیستم‌هایی دارای مزایایی از قبیل اقتصادی بودن، میرایی و سختی بالای ستون‌ها نسبت به قاب خمشی فولادی و شکل‌پذیری بیشتر تیرها نسبت به قاب خمشی بتنی، امکان استفاده از دهانه‌های بزرگ‌تر، و سرعت ساخت زیاد آنها می‌باشند [۲]. همچنین از لحاظ سازه‌ای نیز بر طبق گزارش‌های ارائه شده دارای ظرفیت مقاومت و سختی خوبی در برابر بارهای رفت و برگشتی می‌باشند [۳].

قاب‌های خمشی RCS هم در آمریکا و هم در ژاپن از اواخر دهه ۱۹۷۰ و اوایل دهه ۱۹۸۰ شروع به عمومی شدن، شدند. همچنین گروه تحقیقاتی مشترک ژاپن و آمریکا مطالعات خود را روی سیستم‌های ترکیبی RCS به‌عنوان زیرمجموعه‌ای از مطالعات سازه‌های دوگانه و ترکیبی از آوریل ۱۹۹۳ شروع کرده‌اند. یکی از پروژه‌های بزرگ در این زمینه در دانشگاه تگزاس<sup>۱</sup> توسط شیخ و همکاران<sup>۲</sup> [۵ و ۴] و دیرلین<sup>۳</sup> [۶] انجام گرفته است، که در آن ۱۵ اتصال تیر به ستون RCS میانی از نوع تیر پیوسته با مقیاس دو سوم برای تعیین مقاومت و سختی اتصال تحت بارگذاری یکنواخت و چرخه‌ای مورد آزمایش قرار گرفته‌اند. نتایج نشان داده که اتصالات دارای دو نوع مد گسیختگی می‌باشند (شکل ۱)، ۱- گسیختگی برشی با تسلیم جان تیر فولادی و ترک خوردگی و خردشدگی بتن و ۲- گسیختگی خمشی با خردشدگی بتن در نواحی با تنش‌های خمشی زیاد که در بالا و پایین بال‌های تیرهای فولادی قرار گرفته‌اند، همراه می‌باشند.



شکل ۱: مدهای گسیختگی اتصالات RCS

- 1- Texas University
- 2- Sheikh.et al
- 3- Deierlin.et al

براساس دو مد گسیختگی که به آن‌ها اشاره شد، دیرلین و همکاران [۷] مدل مقاومت برشی اتصال را پیشنهاد کردند. مدل پیشنهادی ارائه شده توسط دیرلین برای جامعه مهندسان عمران آمریکا<sup>۱</sup> پیشنهاد کردند. مدل پیشنهادی ارائه شده توسط دیرلین برای

جامعه مهندسان عمران آمریکا در سال ۱۹۹۴ پذیرفته شده و دستورالعمل طراحی اتصال تیر-ستون ترکیبی RCS شکل گرفت. نیشیاما و همکاران<sup>[۸]</sup> دستورالعمل طراحی لرزه‌ای برای سازه‌های ترکیبی بتن-فولاد را توسعه داده‌اند. معادلات طراحی مقاومت برشی نهایی صفحات اتصال و مدل‌های هیستریزیس برای ۱۲ نوع جزئیات مختلف اتصال RCS، شامل نوع تیر پیوسته و نوع ستون پیوسته بدست آمدند و می‌تواند برای تحلیل‌های پیشرفته که رفتار غیرارتجاعی اتصالات تیر-ستون را در نظر می‌گیرد استفاده شود.

بسیاری از محققان دیگر در مورد اتصالات RCS تحقیقاتی را انجام داده و نشان داده‌اند که این اتصالات ترکیبی عملکرد خوبی تحت بارگذاری لرزه‌ای دارند. با توجه به اینکه تاکنون تحقیق خاصی بر روی رفتار چشمه اتصال در سازه‌های RCS متمرکز نشده لذا هدف در این مقاله، تمرکز بر روی چشمه اتصالات RCS از نوع ستون پیوسته که ماهیت ناشناخته‌تری نسبت به نوع تیر پیوسته دارند می‌باشد. برای این منظور اتصالات RCS ستون گوشه که تحت لنگر دو محوره قرار می‌گیرد و نسبت به ستون‌های دیگر بحرانی‌تر می‌باشد، با دو نوع سخت‌کننده موازی و قطری و در ضخامت‌های مختلف کاورپلیت و سخت‌کننده در نرم‌افزار آباکوس مدل‌سازی و تحت بارگذاری چرخه‌ای به روش المان محدود مورد تحلیل قرار گرفته و مواردی همچون تنش و خرابی در چشمه اتصال و رفتار اتصالات از لحاظ شکل‌گیری مفصل پلاستیک مورد ارزیابی قرار خواهند گرفت.

## ۲- جزئیات مدل‌سازی اتصال RCS در نرم‌افزار آباکوس

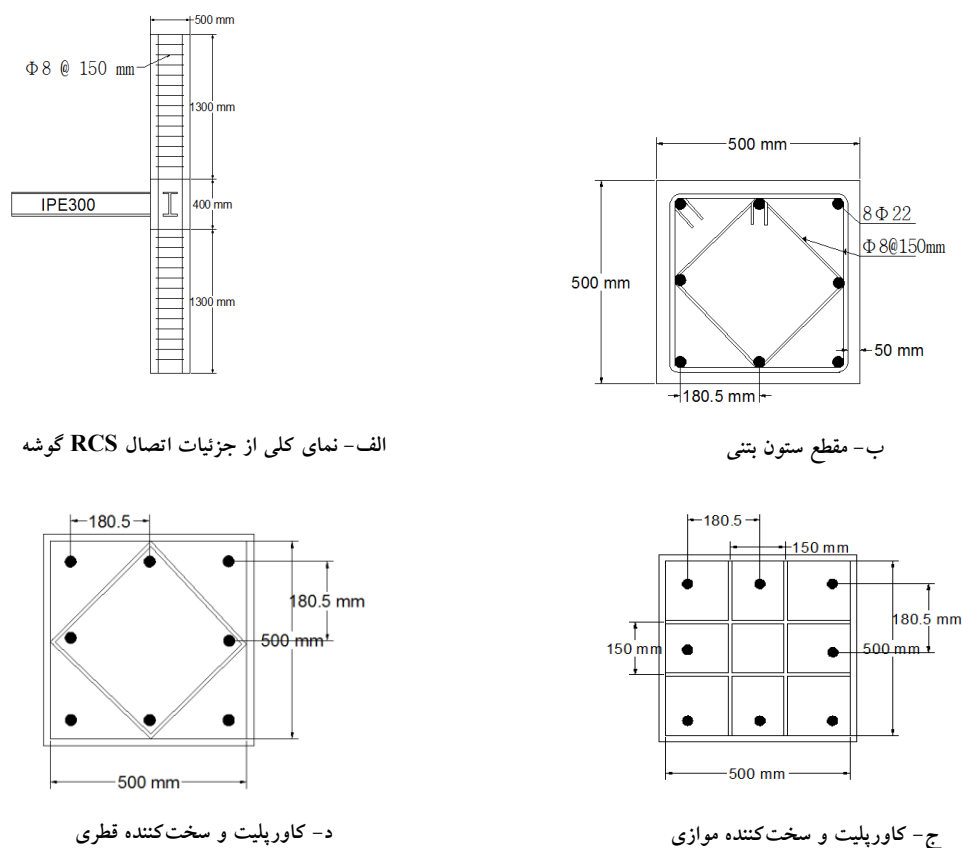
به منظور مدل‌سازی و تحلیل اتصالات موردنظر، روش المان محدود (FEM) با استفاده از نرم‌افزار آباکوس که قابلیت خوبی نسبت به سایر نرم‌افزارهای مشابه در مدل‌سازی رفتار بتن دارد به کار گرفته شده است. با توجه به دستورالعمل‌های کنترلی آیین‌نامه بتن آمریکا<sup>۳</sup> و کنترل معیار ستون قوی-تیر ضعیف، در اتصالات RCS مطابق با شکل ۳ از اعضا با مشخصات زیر استفاده شده است: ستون بتنی با طول ۳۰۰۰ میلی‌متر با سطح مقطع ۵۰۰×۵۰۰ میلی‌متر، آرماتور طولی نمره ۲۲ با طول ۳۰۰۰ میلی‌متر، خاموت نمره ۸ مربعی با طول هر ضلع ۴۰۰ میلی‌متر، تیر فولادی IPE 300 با طول ۱۵۰۰ میلی‌متر و کاورپلیت و سخت‌کننده با حداقل ضخامت ۱۰ میلی‌متر (شکل ۳). در اتصال موردنظر از دو نوع سخت‌کننده متفاوت (قطری و موازی) در داخل چشمه اتصال استفاده شده است و همچنین برای بررسی تأثیر ضخامت سخت‌کننده و کاورپلیت در عملکرد اتصال هر کدام از آنها در سه ضخامت مختلف مورد بررسی قرار گرفته است. در جدول ۱ نمونه‌های مدل شده در این تحقیق آورده شده است.

جدول ۱- مشخصات نمونه‌های مدل شده در نرم‌افزار

نام نمونه با سخت‌کننده موازی	نام نمونه با سخت‌کننده قطری	ضخامت سخت‌کننده	ضخامت کاورپلیت
P-S10C10	D-S10C10	10 mm	10 mm
P-S15C10	D-S15C10	15 mm	10 mm
P-S20C10	D-S20C10	20 mm	10 mm
P-S10C15	D-S10C15	10 mm	15 mm
P-S10C20	D-S10C20	10 mm	20 mm

حرف اول در نامگذاری اتصالات مشخص کننده نوع سخت‌کننده (قطری D و موازی P)، عدد بعد از حرف S بیانگر ضخامت سخت‌کننده و عدد بعد از حرف C ضخامت کاورپلیت در مدل مورد نظر را نشان می‌دهند. ابعاد و اندازه بقیه اجزاء اتصال در همه نمونه‌ها یکسان در نظر گرفته شده است. شکل و جزئیات اتصال مدل‌سازی شده در نرم‌افزار آباکوس در شکل ۴ و شکل ۵ نشان داده شده است.

- 1- American Society of Civil Engineering (ASCI)
- 2- Nishiyama et al.
- 3- American Concrete Institute (ACI)



الف- نمای کلی از جزئیات اتصال RCS گوشه

ب- مقطع ستون بتنی

د- کاورپلیت و سخت کننده قطری

ج- کاورپلیت و سخت کننده موازی

شکل ۲: جزئیات اتصالات مورد بررسی در این مقاله

برای تعریف رفتار فشاری و کششی بتن از روابط ارائه شده توسط واهالاتانتری و همکاران<sup>۱</sup> [۹] که برای استفاده در مدل پلاستیسیته آسیب دیده بتن<sup>۲</sup> در نرم افزار آباکوس می باشد استفاده می کنیم (شکل ۶). این روش برای بتن با مقاومت فشاری ماکزیمم  $(f'_c)$  تا ۶۲ مگاپاسگال شده است. که در این مقاله از بتن با مقاومت فشاری نهایی  $(f'_c)$  ۳۵ مگاپاسگال استفاده شده است. پارامتر خرابی فشاری و خرابی کششی بتن نیز مطابق روابط (۱) و (۲) تعریف می شوند.

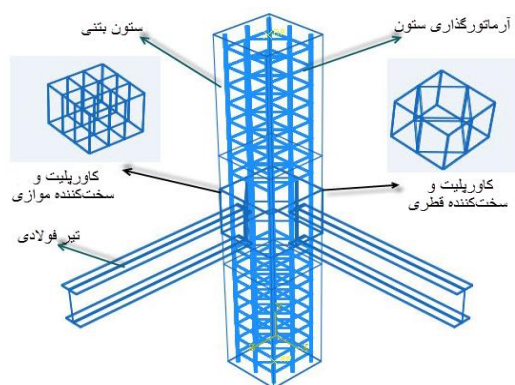
$$d_c = \frac{\varepsilon_c - \varepsilon_{el}}{\varepsilon_{ct}} \quad (1)$$

$$d_t = \frac{\varepsilon_t - \varepsilon_{cr}}{\varepsilon_{tt}} \quad (2)$$

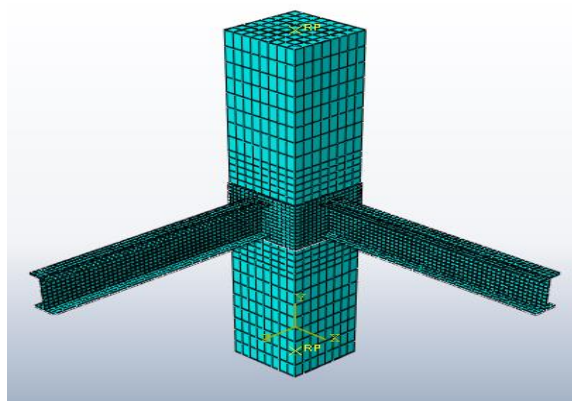
که در این روابط  $d_t$  و  $d_c$  به ترتیب خرابی فشاری و کششی بتن، کرنش متناظر با  $0.5f'_c$ ، کرنش فشاری متناظر در روی هر نقطه از نمودار،  $\varepsilon_t$  کرنش کششی متناظر روی هر نقطه از نمودار،  $\varepsilon_{cr}$  کرنش ترک خوردگی،  $\varepsilon_{ct}$  کرنش فشاری کل و  $\varepsilon_{tt}$  کرنش کششی کل می باشند. همچنین برای تعریف رفتار فولاد در نرم افزار آباکوس، نمودار سه خطی ایده آل شده تنش-کرنش مورد استفاده قرار گرفت. مشخصات فولاد های مصرفی در جدول ۲ آورده شده است.

1-Wahalathantr et al.

2- Concrete Damage Plasticity Model



شکل ۵- جزئیات مدل اتصال



شکل ۴- مش بندی مدل اتصال

جدول ۲- مشخصات فولاد مورد استفاده در مدلسازی اتصالات

المان موردنظر	نوع مصالح	تنش تسلیم $F_y$ (MPa)	تنش نهایی $F_u$ (MPa)	کرنش نهایی (درصد)	مدول الاستسیته (MPa)
تیر-کاورپلیت-سخت کننده	St-47	336	477	21.5	200000
میلگردهای طولی	A-III	400	600	12	200000
خاموت ها	A-II	340	500	15	200000

برای مش بندی ستون بتنی از المان حجمی ۸ گرهی<sup>۱</sup> و برای مش بندی تیر، کاورپلیت و سخت کننده فولادی از المان پوسته ای<sup>۲</sup> و برای میلگردهای طولی و عرضی ستون از المان خربایی<sup>۳</sup> استفاده شده است. مش بندی المان ها به گونه ای صورت می گیرد که برای نواحی با اهمیت زیاد که جوابها در آن نواحی مهم و تأثیرگذار هستند از مش ریزتر و برای سایر نواحی از مش درشت تر استفاده می شود. برای این منظور آنالیز حساسیت مش برای مدل مورد نظر انجام گرفت، و با توجه به نتایج بدست آمده اندازه های نشان داده شده در جدول ۳ به عنوان اندازه مناسب برای مش بندی اجزاء اتصال مورد استفاده قرار گرفتند.

جدول ۳- اندازه مش بندی اعضاء اتصال

المان موردنظر	ستون	تیر	کاورپلیت و سخت کننده	میلگردهای طولی و عرضی
اندازه مش (mm)	60 – 120	30	30	60

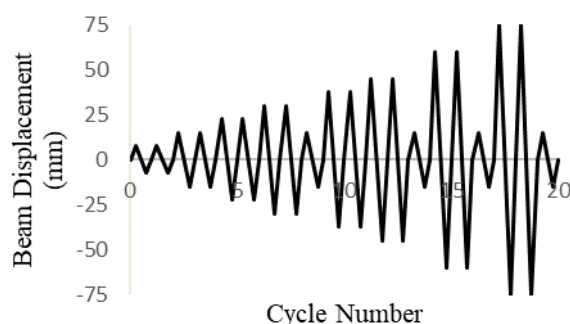
1- C3D8R

2- S4R

3- T3D2

### ۳- شرایط تکیه گاهی و پروتکل بارگذاری اتصال

در این مقاله با فرض اینکه اتصال مورد نظر بخشی از یک سازه اجرا شده است لذا دو انتهای ستون به صورت مفصلی مدل شده و بار چرخه‌ای (با کنترل تغییر مکان) به انتهای دو تیر و در جهت عکس یکدیگر بصورت رفت و برگشتی اعمال گردیده است. برای این منظور ابتدا باید یک الگوی بارگذاری مناسب را برای اعمال بارگذاری چرخه‌ای انتخاب کنیم. در این تحقیق از الگوی بارگذاری پارا مونتسینوس و وایت<sup>۱</sup> [۱۰] استفاده شده است (شکل ۶). در این الگوی بارگذاری تغییر مکان متناظر با ۵ درصد دریافت<sup>۲</sup> طبقه برای اعمال به انتهای تیرها در نظر گرفته شده و علاوه بر بار چرخه‌ای اعمال شده به انتهای تیرها یک بار محوری 480 کیلو نیوتنی نیز (معادل با 0.1 بار محوری نهایی ستون) به سطح بالایی ستون برای در نظر گرفتن اثرات بارهای ثقلی و وزن طبقات بالا، براساس آیین نامه بتن آمریکا [۱۱] وارد گردیده است.

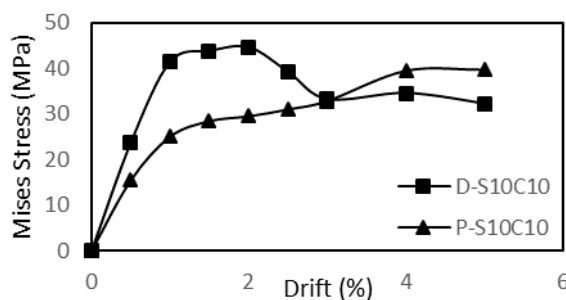


شکل ۶- الگوی بارگذاری چرخه‌ای اعمالی به انتهای تیرها [۱۰]

### ۴- بحث و نتایج حاصل از تحلیل المان محدود

#### ۴-۱- تأثیر آرایش سخت کننده ها در عملکرد اتصال

با بررسی نمودارهای ماکزیمم تنش-تغییر مکان در بتن چشمه اتصال برای اتصالات مختلف مطابق شکل ۷ مشاهده می‌شود که مقدار تنش بوجود آمده در اتصال گوشه با سخت کننده قطری در همان جابجایی‌های اولیه به بیشترین مقدار خود می‌رسد و بعد از آن با کاهش تنش مواجه شده و بعد از جابجایی ۳ درصد نیز تقریباً مقدار ثابتی به خود می‌گیرد. ولی این امر در مورد اتصال با سخت کننده موازی صادق نیست و مشاهده می‌شود که افزایش ماکزیمم تنش در بتن چشمه اتصال تا جابجایی ۵ درصد ادامه می‌یابد و بیشترین مقدار تنش نیز در ماکزیمم جابجایی اتفاق می‌افتد که این مقدار از ماکزیمم تنش بوجود آمده در سخت کننده قطری حدود ۱۳ درصد کمتر می‌باشد (شکل ۷).

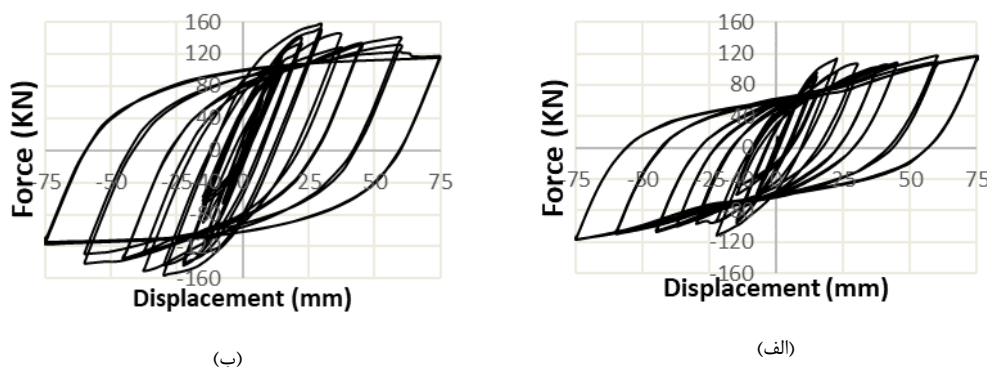


شکل ۷: ماکزیمم تنش در بتن چشمه اتصال با سخت کننده موازی و قطری

1- Parra- Montesinos & Wight

2- Drift

با بررسی نمودارهای هیستریزیس بار-تغییر مکان تیرها می‌توان به دلیل متفاوت بودن شکل نمودار ماکزیمم تنش بتن اتصالات با سخت‌کننده موازی و سخت‌کننده قطری پی برد (شکل ۸).



شکل ۸: منحنی‌های هیستریزیس اتصالات با سخت‌کننده الف- موازی و ب- قطری (ضخامت کاورپلیت و سخت‌کننده ۱۰ میلیمتر)

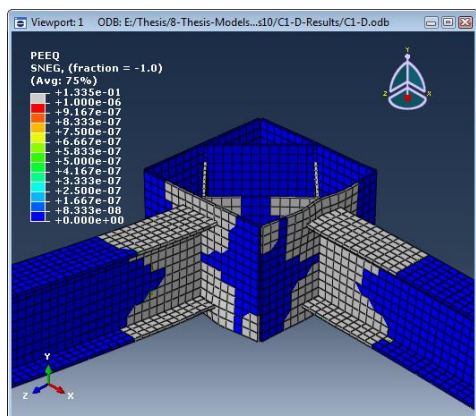
مطابق شکل ۸ مشاهده می‌شود که حلقه‌های هیستریزیس در اتصال با سخت‌کننده موازی باریکتر از سخت‌کننده قطری بوده و مقدار ماکزیمم نیروی بدست آمده نیز در سخت‌کننده قطری حدود ۳۰ درصد بیشتر می‌باشد. در اتصال با سخت‌کننده قطری بعد از جابجایی ۲ درصد با افزایش جابجایی نیروی اعمالی کاهش می‌یابد. این بدین معنی است که شکل‌گیری مفصل پلاستیک در این اتصالات در تیر به خوبی صورت گرفته و بعد از آنکه تیر به مقاومت نهایی خود می‌رسد عملاً اعمال جابجایی‌های بیشتر به نیروی کمتری نیاز خواهد داشت و به تبع آن تنش کمتری نیز در چشمه اتصال بوجود خواهد آمد. اما این موضوع در مورد اتصال با سخت‌کننده موازی صدق نمی‌کند و همانطور که از شکل ۸ پیداست با افزایش جابجایی همچنان نیروی اعمالی نیز در حال افزایش است و ماکزیمم مقدار نیرو همانند ماکزیمم مقدار تنش در بتن چشمه اتصال در جابجایی ۵ درصد بدست می‌آید.

با بررسی توزیع کرنش پلاستیک تجمعی (PEEQ) در تیر و کاورپلیت در جابجایی ۲ درصد مطابق شکل ۹ می‌بینیم که در اتصال با سخت‌کننده موازی بیشتر نواحی تسلیم در کاورپلیت رخ داده و گسترش نواحی تسلیم در تیر کمتر به چشم می‌خورد. بالعکس، در اتصال با سخت‌کننده قطری مشاهده می‌شود که نواحی تسلیم عمدتاً در تیر فولادی اتفاق می‌افتد (شکل ۹) و همین امر باعث شده تا این اتصال نسبت به اتصال با سخت‌کننده موازی جذب انرژی و شکل‌پذیری بهتری از خود نشان دهد. بطوریکه که جذب انرژی اتصال با سخت‌کننده قطری حدود ۳۵ درصد بیشتر از سخت‌کننده موازی می‌باشد.

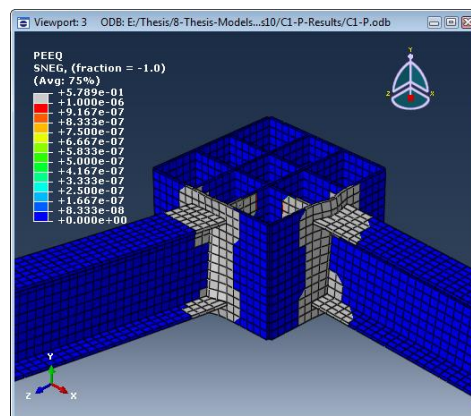
همانطور که از شکل ۹ پیداست در اتصالات با سخت‌کننده قطری آرایش سخت‌کننده‌ها به گونه‌ای است که اجازه تغییر مکان و دوران به قسمت میانی کاورپلیت که هم محور با تیر می‌باشد داده نمی‌شود در حالیکه در اتصالات با سخت‌کننده موازی این ناحیه از کاورپلیت بدون مهار بوده و همین امر باعث شده تا کاورپلیت دچار تغییر مکان و دوران در این ناحیه شود. دوران کاورپلیت در ناحیه هم محور با تیر در اتصالات با سخت‌کننده موازی سبب شده تا تیر در حین بارگذاری دچار دوران صلب شود، بدین معنی که جابجایی اعمالی به انتهای تیرها بطور خالص جابجایی نسبی خود تیر نبوده و ترکیبی از جابجایی به علت دوران صلب و جابجایی نسبی انتهای خود تیر می‌باشد. همین امر موجب شده تا جذب انرژی و نیروی بدست آمده در اتصال با سخت‌کننده موازی کمتر از سخت‌کننده قطری باشد.

نمودارهای خرابی - تغییر مکان برای بتن چشمه اتصال نشان داد که ماکزیمم خرابی فشاری در اتصال با سخت‌کننده قطری در دریافت ۳ درصد رخ داده و به حداکثر مقدار خود (0.8233) می‌رسد، در حالیکه در اتصال با سخت‌کننده موازی ماکزیمم خرابی فشاری در دریافت ۵ درصد اتفاق افتاده و مقدار آن نیز 0.3303 می‌باشد که حدود ۶۰ درصد کمتر از مقدار متناظر در سخت‌کننده قطری می‌باشد (شکل ۱۰). همچنین مطابق شکل ۱۱ نتایج حاصل از تحلیل المان محدود برای خرابی کششی بتن چشمه اتصالات مختلف نشان داد که خرابی کششی بتن در هردو اتصال با سخت‌کننده‌های موازی و قطری در همان جابجایی ۰/۵ درصد به ماکزیمم مقدار خود (0.885) می‌رسد و عملاً بعد از جابجایی ۰/۵ درصد دیگر بتن توان مقابله با تنش‌های کششی ایجاد شده را ندارد.



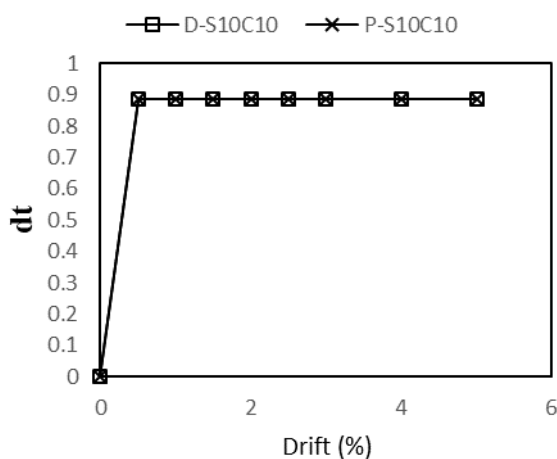


ب- سخت کننده قطری

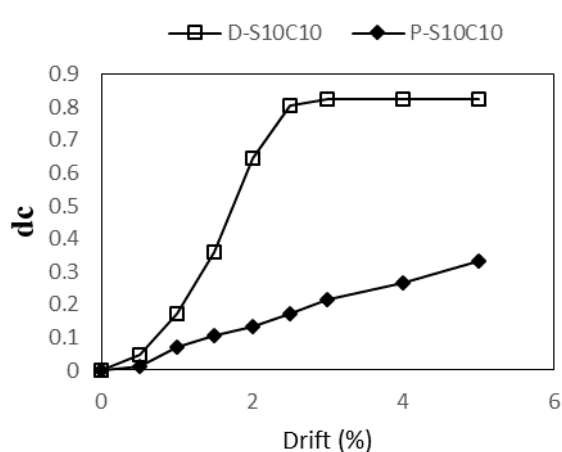


الف- سخت کننده موازی

شکل ۹: نواحی تسلیم در تیر و کاورپلیت در اتصالات در جایجایی ۲ درصد

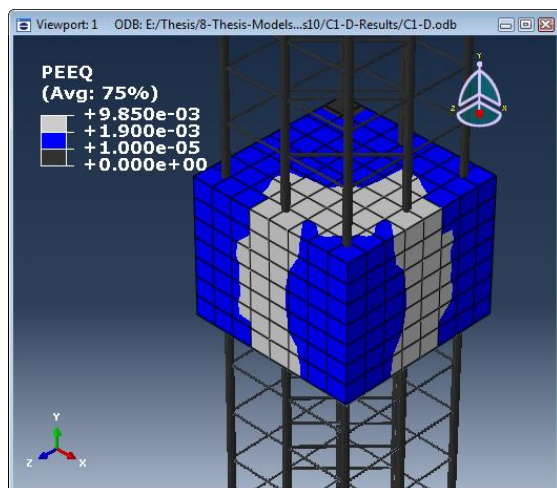


شکل ۱۱: ماکزیمم خرابی کششی بتن چشمه اتصال

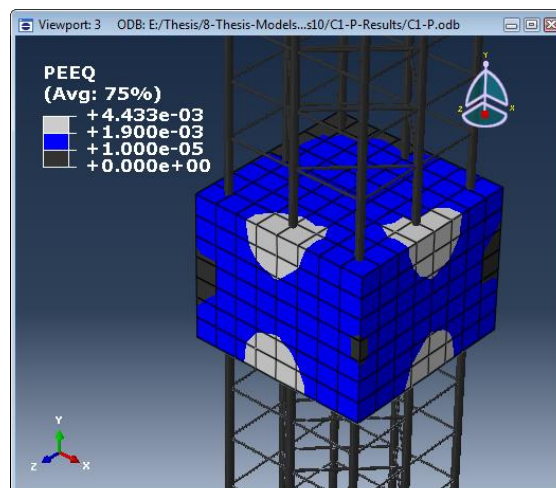


شکل ۱۰: ماکزیمم خرابی فشاری بتن چشمه اتصال

نتایج حاکی از آن است که هر دو خرابی فشاری و کششی در قسمت‌هایی از بتن که در تماس با لبه‌های بالایی و پایینی کاورپلیت هستند به مقادیر ماکزیمم خود رسیده و از این نواحی شروع به خراب شدن می‌کنند که بنظر می‌رسد به دلیل فشار لبه کاورپلیت به بتن در طول بارگذاری و انتقال نیروی تیر از این نواحی به چشمه اتصال دچار خردشدگی و شکاف می‌شود. شکل ۱۲ توزیع کرنش پلاستیک در بتن چشمه اتصال در زمان وقوع ماکزیمم خرابی را نشان می‌دهد و مشاهده می‌شود نواحی که دچار کرنش‌های بزرگ‌تر از کرنش متناظر با  $f'_c$  شده اند در اتصال با سخت کننده قطری بیشتر از موازی می‌باشد و نیز این نواحی در اتصال با سخت کننده موازی تنها در قسمت کوچکی که در اتصال با لبه کاورپلیت می‌باشد به چشم می‌خورد. از طرفی با توجه به اینکه سطح آزاد بتن در داخل سخت کننده قطری بیشتر از سخت کننده موازی می‌باشد به همین خاطر بتن در معرض کرنش‌های بیشتری در این نوع سخت کننده بوده و به تغییرشکل‌های بیشتری وادار می‌شود، لذا خرابی آن نیز بیشتر خواهد بود.



ب- سخت کننده قطری



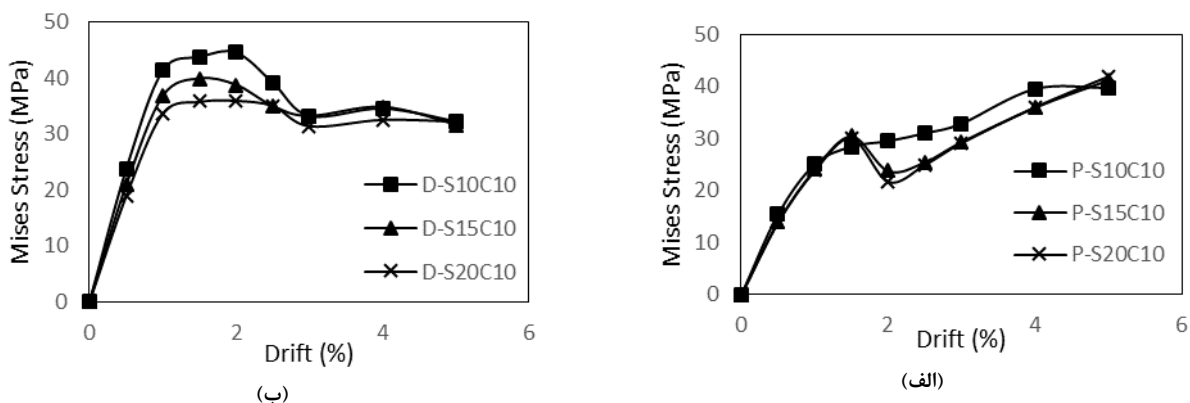
الف- سخت کننده موازی

شکل ۱۲: نحوه توزیع کرنش پلاستیک در بتن در زمان وقوع ماکزیمم مقدار خرابی فشاری

#### ۴-۲- تأثیر ضخامت سخت کننده در عملکرد اتصال

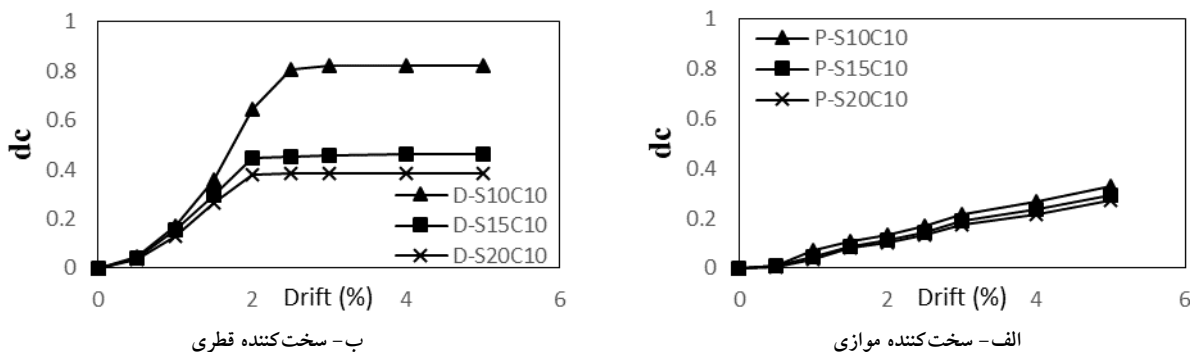
به منظور بررسی تأثیر ضخامت سخت کننده در عملکرد چشمه اتصال مدل المان محدود، نمونه‌های RCS با سخت کننده‌های موازی و قطری در سه ضخامت مختلف ۱۰، ۱۵ و ۲۰ میلی‌متر مورد ارزیابی قرار گرفتند. نمودارهای ماکزیمم تنش-تغییر مکان بتن در ضخامت‌های مختلف سخت کننده نشان می‌دهند که در اتصال با سخت کننده قطری با افزایش ۵۰ درصدی ضخامت سخت کننده مقدار ماکزیمم تنش حدود ۱۲ درصد و با افزایش ۱۰۰ درصدی ضخامت سخت کننده حدود ۱۸ درصد کاهش می‌یابد که البته این کاهش تنش تا جابجایی ۳ درصد مشاهده می‌شود و بعد از آن مقدار تنش در هر سه ضخامت تقریباً ثابت می‌ماند. در اتصال با سخت کننده موازی ماکزیمم مقدار تنش که در هر سه ضخامت در جابجایی ۵ درصد رخ می‌دهد تقریباً مقدار یکسانی دارد اما مشاهده می‌شود که با افزایش ۵۰ درصدی ضخامت سخت کننده مقادیر تنش بین جابجایی‌های ۲ درصد تا ۴ درصد بین ۱۰ تا ۲۰ درصد کاهش می‌یابد اما با افزایش ۱۰۰ درصدی در ضخامت سخت کننده مشاهده می‌شود که مقادیر تنش نسبت به حالت ۵۰ درصد افزایش تغییری نکرده و تقریباً مقادیر یکسانی دارند (شکل ۱۳). همانطور که از شکل ۱۳ پیداست شکل کلی نمودارها تغییری نکرده و روند افزایشی نمودار تنش در اتصالات با سخت کننده موازی با افزایش ضخامت سخت کننده نیز حفظ شده است. با توجه به علت این موضوع که عدم شکل‌گیری مناسب مفصل پلاستیک در تیر و دوران صلب تیر می‌باشد و در قسمت‌های قبلی توضیح داده شد، در می‌یابیم که افزایش ضخامت سخت کننده تأثیری در این مورد ندارد و در اتصالات با سخت کننده موازی تیر به مقاومت نهایی خود نرسیده و مقدار نیروهای اعمالی به انتهای تیر روند افزایشی را طی می‌کند که به تبع آن تنش انتقالی به چشمه اتصال نیز تا جابجایی ۵ درصد افزایش می‌یابد. بنظر می‌رسد افزایش ضخامت بطوریکه مقدار ماکزیمم نیرو در ضخامت‌های بیشتر سخت کننده تنها ۱ تا ۲ درصد نسبت به ضخامت ۱۰ میلی‌متر افزایش می‌یابد.

مساحت زیر نمودارهای هیستریزس نیز می‌تواند تأییدی بر گفته‌های فوق باشد، بطوریکه مشاهده شد با افزایش ۵۰ و ۱۰۰ درصدی ضخامت سخت کننده جذب انرژی اتصال با سخت کننده قطری به ترتیب ۵ و ۳/۵ درصد و جذب انرژی اتصال با سخت کننده موازی تنها ۱/۵ و ۲/۵ درصد نسبت به ضخامت ۱۰ میلی‌متر افزایش می‌یابد.



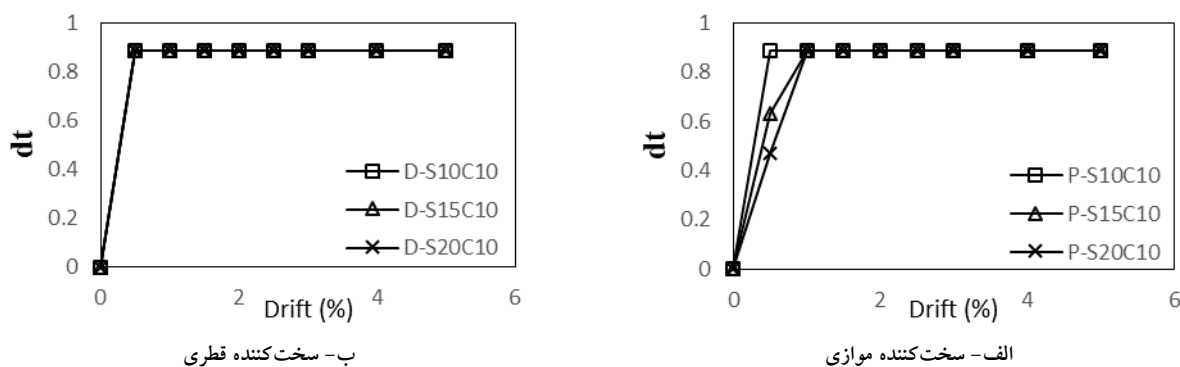
شکل ۱۳: ماکزیمم تنش در بتن چشمه اتصال با ضخامت‌های مختلف سخت‌کننده الف- موازی و ب- قطری

نتایج حاصل از تحلیل المان محدود با ضخامت‌های مختلف سخت‌کننده نشان داد که افزایش ضخامت در هر دو نوع سخت‌کننده باعث کاهش خرابی فشاری در بتن چشمه اتصال می‌گردد و این کاهش در اتصالات با سخت‌کننده موازی در مقایسه با سخت‌کننده قطری کمتر است (شکل ۱۴). با توجه به شکل ۱۴ مشاهده می‌شود میزان ماکزیمم خرابی در اتصال گوشه با سخت‌کننده قطری با افزایش ۵۰ درصدی ضخامت (ضخامت ۱۵ میلی‌متر) حدود ۴۶ درصد و با افزایش ۱۰۰ درصدی ضخامت (ضخامت ۲۰ میلی‌متر) حدود ۵۴ درصد و در اتصال با سخت‌کننده موازی نیز با افزایش ۵۰ و ۱۰۰ درصدی در ضخامت سخت‌کننده (ضخامت‌های ۱۵ و ۲۰ میلی‌متر) ماکزیمم خرابی فشاری بتن بترتیب حدود ۱۳ درصد و ۱۸ درصد کاهش می‌یابد. مشاهده می‌شود که تأثیر افزایش ضخامت در مورد سخت‌کننده‌های قطری بیشتر از موازی می‌باشد با این حال مقایسه نوع سخت‌کننده در ضخامت‌های مختلف نشان می‌دهد که در ضخامت‌های ۱۰، ۱۵ و ۲۰ میلی‌متر مقدار ماکزیمم خرابی در سخت‌کننده موازی به ترتیب ۶۰، ۴۱ و ۳۲ درصد کمتر از سخت‌کننده قطری می‌باشد.



شکل ۱۴: ماکزیمم خرابی فشاری در اتصالات با ضخامت مختلف سخت‌کننده

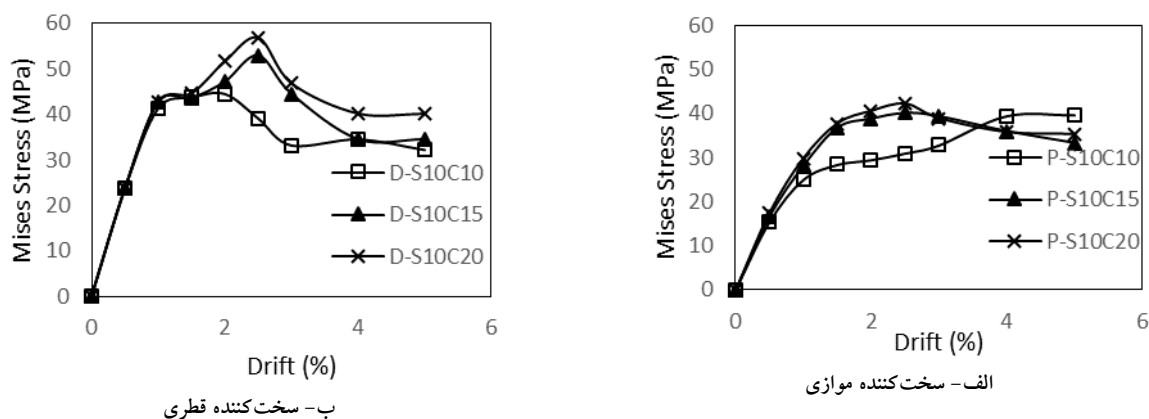
نمودارهای حاصل از خرابی کششی بتن چشمه اتصال نیز مطابق شکل ۱۵ نشان دادند که افزایش ضخامت در اتصال با سخت‌کننده قطری برخلاف سخت‌کننده موازی تأثیری در زمان و مقدار ماکزیمم خرابی ندارد. در اتصال RCS با سخت‌کننده موازی مشاهده می‌شود که با افزایش ضخامت سخت‌کننده ماکزیمم خرابی کششی در جابجایی ۱ درصد رخ داده و مقدار آن در جابجایی ۰/۵ درصد نیز برای افزایش‌های ۵۰ درصدی و ۱۰۰ درصدی در ضخامت سخت‌کننده (ضخامت‌های ۱۵ و ۲۰ میلی‌متر) به ترتیب حدود ۲۹ و ۵۰ درصد کاهش می‌یابد. برخلاف نتایج تنش و خرابی فشاری بتن در اتصالات، در مورد خرابی کششی بتن مشاهده می‌شود که افزایش ضخامت سخت‌کننده در اتصالات با سخت‌کننده موازی نسبت به سخت‌کننده قطری تأثیرگذارتر می‌باشد.



شکل ۱۵: ماکزیمم خرابی کششی در اتصالات با ضخامت مختلف سخت کننده

### ۳-۴- تأثیر ضخامت کاورپلیت در عملکرد اتصال

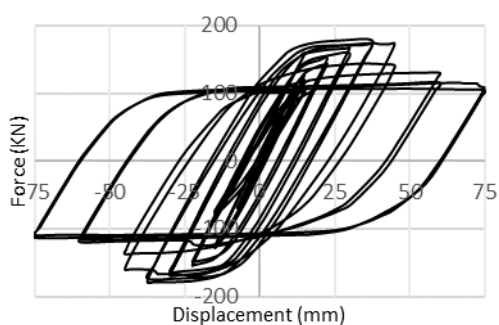
برای بررسی تأثیر ضخامت کاورپلیت مدل المان محدود، نمونه‌های RCS با سخت‌کننده‌های قطری و موازی به ضخامت ۱۰ میلی‌متر، در سه ضخامت مختلف کاورپلیت مورد بررسی قرار گرفتند. نتایج حاصل از تحلیل المان محدود اتصالات نشان می‌دهد که با افزایش ضخامت کاورپلیت ماکزیمم تنش در بتن چشمه اتصال هم در سخت‌کننده موازی و هم در سخت‌کننده قطری افزایش می‌یابد (شکل ۱۶). با توجه به شکل ۱۶ مشاهده می‌شود که در اتصال با سخت‌کننده قطری با افزایش ۵۰ و ۱۰۰ درصدی در ضخامت کاورپلیت (ضخامت ۱۵ و ۲۰ میلی‌متر) مقدار ماکزیمم تنش در بتن به ترتیب حدود ۱۸ و ۲۷ درصد افزایش می‌یابد. در اتصال با سخت‌کننده موازی نیز می‌بینیم که با افزایش ۵۰ و ۱۰۰ درصدی ضخامت کاورپلیت (ضخامت ۱۵ و ۲۰ میلی‌متر) مقدار ماکزیمم تنش تغییر آنچنانی نمی‌کند و به ترتیب حدود ۲ و ۷ درصد نسبت به ضخامت ۱۰ میلی‌متر افزایش می‌یابد. اما مشاهده می‌شود که در اتصال با سخت‌کننده موازی با افزایش ضخامت کاورپلیت شکل نمودار نسبت به حالت‌های قبل عوض می‌شود و برخلاف نتایج قبلی ماکزیمم تنش در جابجایی ۲/۵ درصد رخ داده و بعد از آن با افزایش جابجایی مقدار ماکزیمم تنش در بتن نیز کاهش می‌یابد. با این حال بازهم مشاهده می‌شود که مقدار ماکزیمم تنش در بتن چشمه اتصال با سخت‌کننده موازی در همه ضخامت‌های کاورپلیت کمتر از سخت‌کننده قطری می‌باشد که احتمالاً علت آن جذب بیشتر تنش‌ها توسط سخت‌کننده موازی نسبت به سخت‌کننده قطری باشد.



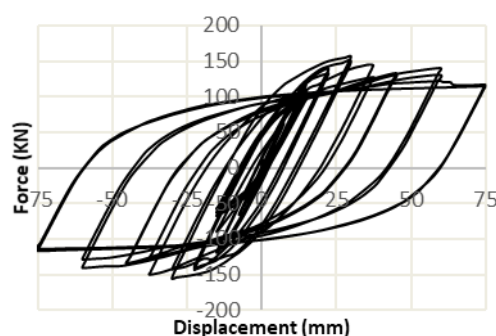
شکل ۱۶: ماکزیمم تنش در بتن چشمه اتصالات با ضخامت‌های مختلف کاورپلیت

همانطور که مشاهده شد شکل نمودارهای ماکزیمم تنش در اتصال با سخت‌کننده موازی با افزایش ضخامت کاورپلیت عوض می‌شود، هرچند که مقدار ماکزیمم تنش بوجود آمده تغییر آنچنانی ندارد. با بررسی نمودارهای هیستریزس بار - تغییر مکان تیرها در اتصالات با ضخامت‌های مختلف کاورپلیت می‌توان به علت این موضوع پی برد (شکل ۱۷ و ۱۸). مشاهده می‌شود که افزایش ضخامت کاورپلیت باعث شده تا ماکزیمم نیروی بدست آمده در اتصال با سخت‌کننده موازی نیز همانند سخت‌کننده قطری در جابجایی‌های اولیه رخ داده و بعد از آن روند کاهشی به خود بگیرد. با افزایش ضخامت کاورپلیت از ۱۰ میلی‌متر به ۱۵ میلی‌متر مشاهده می‌شود که مقدار نیروی

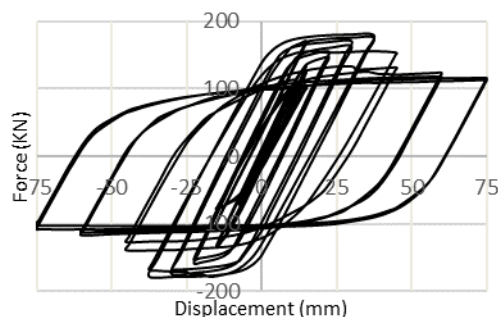
ماکزیمم بدست آمده در اتصال با سخت کننده موازی و قطری به ترتیب ۲۰ و ۱۲ درصد و در اتصال با ضخامت کاورپلیت ۲۰ میلی متر نیز به ترتیب ۳۷ و ۱۰ درصد نسبت به ضخامت ۱۰ میلی متر افزایش می یابد. با وجود اینکه افزایش ضخامت کاورپلیت در بارپذیری اتصالات با سخت کننده موازی تأثیر بیشتری دارد اما با مقایسه نوع سخت کننده مشاهده می شود در ضخامت های کاورپلیت ۱۵ و ۲۰ میلی متر نیز همانند ضخامت ۱۰ میلی متر بارپذیری اتصال با سخت کننده قطری بیشتر از سخت کننده موازی است. ماکزیمم نیروی بدست آمده در اتصال با سخت کننده قطری به ترتیب ۲۷ و ۸ درصد در ضخامت های ۱۵ و ۲۰ میلی متر بیشتر از سخت کننده موازی می باشد. علاوه بر افزایش بارپذیری، مطابق شکل ۱۷ و ۱۸ مشاهده می شود که شکل منحنی هیستریزس اتصالات نیز با افزایش ضخامت کاورپلیت چاق تر می شود و شکل پذیری و جذب انرژی اتصال نیز افزایش می یابد. بطوریکه جذب انرژی اتصال در ضخامت های کاورپلیت ۱۵ و ۲۰ میلی متر در اتصال با سخت کننده قطری به ترتیب ۱۳ و ۱۶ درصد، و در سخت کننده موازی به ترتیب ۳۷ و ۵۳ درصد نسبت به ضخامت ۱۰ میلی متر افزایش می یابد. اما مقایسه نوع سخت کننده در ضخامت های مختلف کاورپلیت نشان می دهد که در ضخامت های ۱۰، ۱۵ و ۲۰ میلی متر جذب انرژی اتصال با سخت کننده قطری به ترتیب ۳۵، ۱۲ و ۲/۵ درصد بیشتر از سخت کننده موازی می باشد.



ضخامت ۱۵ میلی متر



ضخامت ۱۰ میلی متر

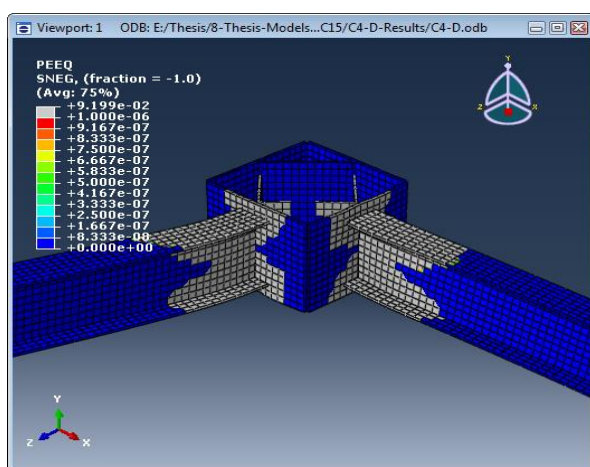


ضخامت ۲۰ میلی متر

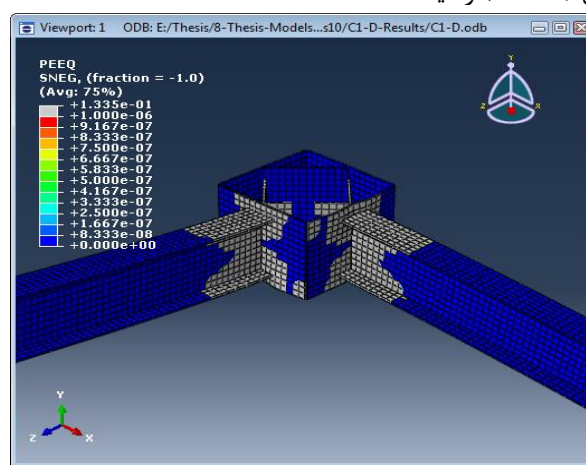
شکل ۱۷: منحنی های هیستریزس اتصالات ضخامت مختلف کاورپلیت با سخت کننده قطری

با بررسی نحوه توزیع کرنش پلاستیک تجمعی (PEEQ) در مجموعه کاورپلیت و تیر با ضخامت های مختلف کاورپلیت در جابجایی ۲ درصد در شکل ۱۹ و ۲۰ مشاهده می شود نحوه تشکیل مفصل پلاستیک در تیر با افزایش ضخامت کاورپلیت بهبود می یابد. مشاهده می شود که با افزایش ضخامت کاورپلیت نواحی تسلیم بیشتر به سمت تیرها متمایل می شود و همین امر باعث می شود تا شکل گیری مفصل پلاستیک در تیرها به خوبی صورت گرفته و خاصیت جذب انرژی اتصال افزایش یابد. افزایش ضخامت کاورپلیت باعث افزایش سختی آن شده و در نتیجه تغییر شکل آن کاهش می یابد. با کاهش تغییر شکل کاورپلیت، در اتصال با سخت کننده موازی از دوران صلب تیر که در اتصال با ضخامت کاورپلیت ۱۰ میلی متر آن را مشاهده کردیم جلوگیری شده و از تمام ظرفیت تیر استفاده می شود و به تبع آن مقاومت اتصال افزایش می یابد، بطوریکه می بینیم با افزایش ضخامت کاورپلیت مقاومت اتصال با هر دو نوع سخت کننده به هم نزدیک تر می شود. بنابراین با توجه به تغییرات بوجود آمده در نیروی اعمالی در اثر افزایش ضخامت کاورپلیت ماکزیمم مقدار تنش در بتن چشمه اتصال نیز در

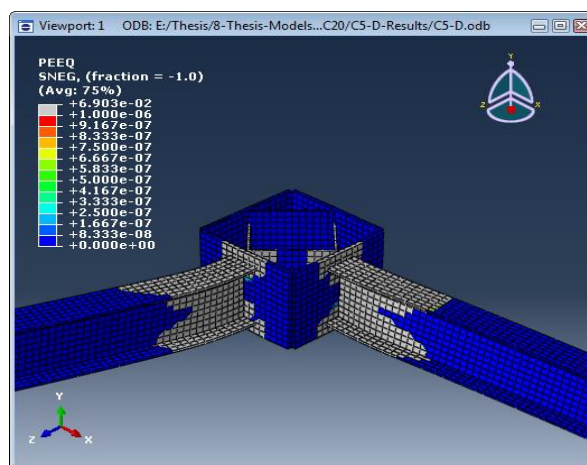
همان جابجایی‌های اولیه رخ داده و بعد از جابجایی ۲/۵ درصد سیر نزولی از خود نشان می‌دهد. بررسی نمودارهای خرابی فشاری بتن در اتصالات با ضخامت‌های مختلف کاورپلیت مطابق شکل ۲۱ نشان می‌دهد که در اتصال با سخت‌کننده موازی با افزایش ضخامت کاورپلیت ماکزیمم مقدار آن در ضخامت ۱۵ و ۲۰ میلی‌متر در همان جابجایی ۵ درصد اتفاق می‌افتد و مقدار آن نیز به ترتیب ۱۹ و ۵ درصد نسبت به ضخامت ۱۰ میلی‌متر افزایش می‌یابد. در اتصال با سخت‌کننده قطری مشاهده می‌شود که افزایش ضخامت کاورپلیت تأثیری در خرابی فشاری ندارد و در ضخامت‌های مختلف خرابی یکسانی در بتن اتفاق می‌افتد و فقط مقدار ماکزیمم خرابی کمی زودتر و در جابجایی ۲/۵ درصد رخ می‌دهد. همانطور که در شکل ۲۲ نشان داده شده، در همه اتصالات با ضخامت‌های مختلف کاورپلیت در هر دو نوع سخت‌کننده موازی و قطری ماکزیمم خرابی کششی در همان جابجایی ۰/۵ درصد رخ داده و به بیشترین مقدار خود (0.885) می‌رسد. با توجه به افزایش نیروی وارد بر اتصال در اثر افزایش ضخامت کاورپلیت و به طبع آن افزایش تنش‌های وارد بر بتن چشمه اتصال این نتیجه قابل پیش‌بینی به نظر می‌رسد. نحوه توزیع خرابی کششی در بتن چشمه اتصال با ضخامت‌های مختلف کاورپلیت در جابجایی ۰/۵ درصد نشان داد که نواحی خراب شده در بتن با افزایش ضخامت کاورپلیت بیشتر شده است و نقاط بیشتری از بتن به ماکزیمم مقدار کرنش در رفتار کششی بتن (0.0009) رسیده است.



ضخامت ۱۵ میلی‌متر

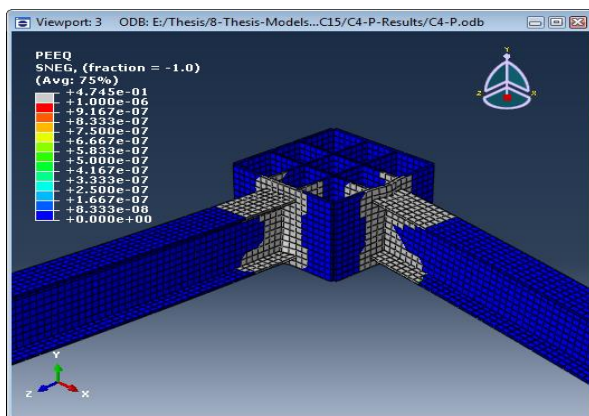


ضخامت ۱۰ میلی‌متر

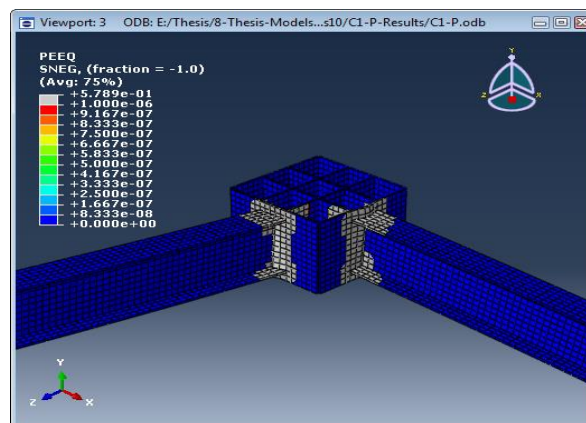


ضخامت ۲۰ میلی‌متر

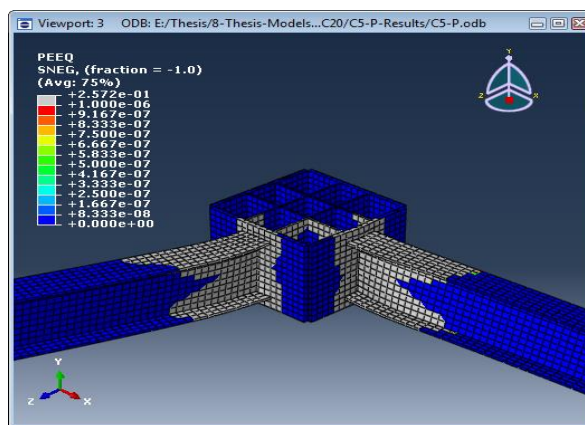
شکل ۱۹: نواحی تسلیم در اتصالات با سخت‌کننده قطری و با ضخامت مختلف کاورپلیت در دررفت ۲ درصد



ضخامت ۱۵ میلی متر

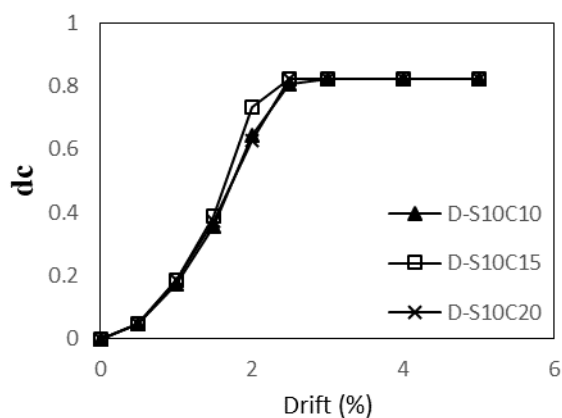


ضخامت ۱۰ میلی متر

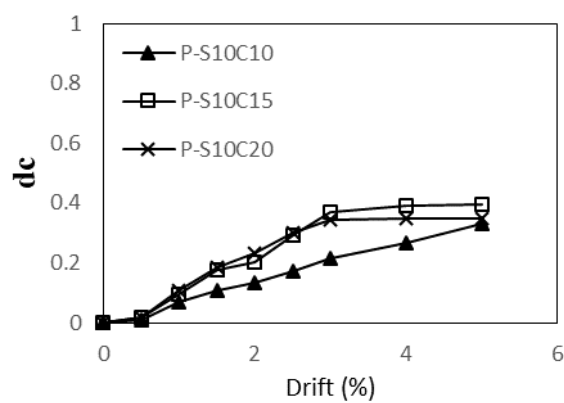


ضخامت ۲۰ میلی متر

شکل ۲۰: نواحی تسلیم در اتصالات با سخت کننده موازی و با ضخامت مختلف کاوپرلیت در دریفت ۲ درصد

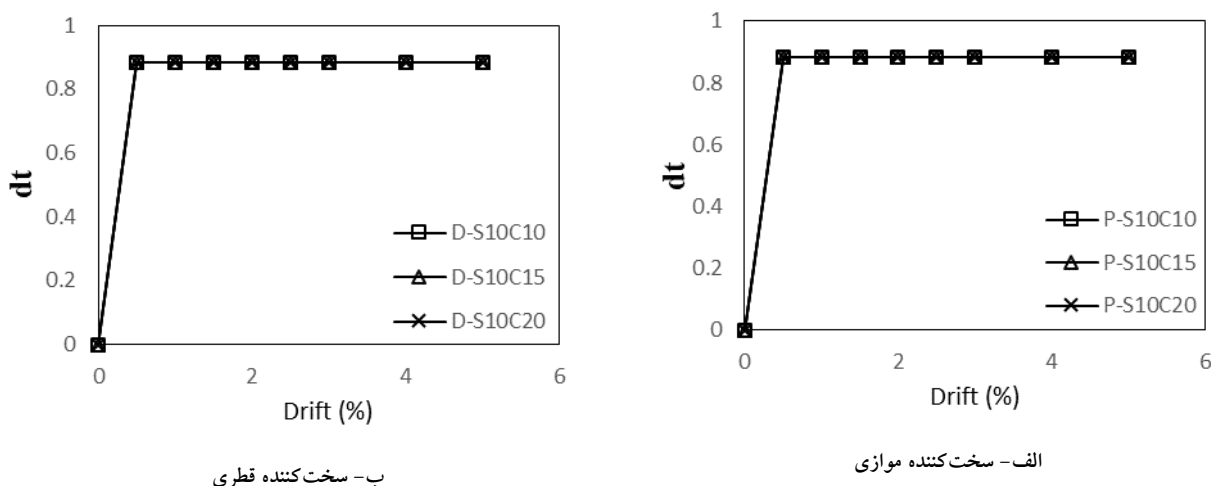


ب- سخت کننده قطری



الف- سخت کننده موازی

شکل ۲۱: خرابی فشاری بتن چشمه اتصال با ضخامت های مختلف کاوپرلیت



شکل ۲۲: خرابی کششی بتن اتصال با ضخامت های مختلف کاورپلیت

## ۵- نتیجه گیری نهایی

حداقل با استناد به نتایج حاصل از تحلیل المان محدود با استفاده از نرم افزار آباکوس برای اتصالات تیر فولادی و ستون بتنی می توان به نتایج زیر دست یافت:

۱- مقدار ماکزیمم تنش به وجود آمده در بتن چشمه اتصالات تیر فولادی و ستون بتنی با ضخامت کاورپلیت و سخت کننده ۱۰ میلی متر تحت بارگذاری چرخه ای، در سخت کننده قطری حدود ۱۳ درصد بیشتر از سخت کننده موازی می باشد. میزان خرابی فشاری نیز در اتصالات تیر فولادی و ستون بتنی با سخت کننده قطری حدود ۶۰ درصد بیشتر از سخت کننده موازی بدست آمد. این موضوع اثر بهتر سخت کننده های موازی را در محصور کردن بتن نشان می دهد.

۲- خرابی کششی بتن چشمه اتصال، در هر دو نوع سخت کننده در ضخامت کاورپلیت و سخت کننده ۱۰ میلی متر در همان جابجایی ۰/۵ درصد به ماکزیمم مقدار خود می رسد.

۳- در ضخامت کاورپلیت و سخت کننده ۱۰ میلی متر، اتصال تیر فولادی و ستون بتنی با سخت کننده قطری حدود ۳۰ درصد بارپذیری بیشتری نسبت به اتصال با سخت کننده موازی دارد و همچنین مفصل پلاستیک در این اتصالات به خوبی شکل گرفته و به همین خاطر دارای شکل پذیری و جذب انرژی بهتری نسبت به اتصال با سخت کننده موازی می باشد، بطوریکه جذب انرژی اتصال با سخت کننده قطری حدود ۳۵ درصد بیشتر از سخت کننده موازی بدست آمد.

۴- افزایش ضخامت سخت کننده تأثیر مثبت در عملکرد چشمه اتصالات تیر فولادی و ستون بتنی با هر دو نوع سخت کننده دارد. لیکن این تأثیر در اتصالات با سخت کننده قطری بیشتر از سخت کننده موازی می باشد بطوریکه نسبت به ضخامت ۱۰ میلی متر با افزایش ۵۰ و ۱۰۰ درصدی ضخامت سخت کننده قطری به ترتیب ۴۶ و ۵۴ درصد و در سخت کننده موازی به ترتیب ۱۳ و ۱۸ درصد خرابی کاهش می یابد. اما مقایسه نوع سخت کننده ها با یکدیگر در ضخامت های سخت کننده ۱۰، ۱۵ و ۲۰ میلی متر نشان داد مقدار ماکزیمم خرابی در سخت کننده موازی به ترتیب ۶۰، ۴۱ و ۳۲ درصد کمتر از سخت کننده قطری می باشد.

۵- افزایش ضخامت سخت کننده در بارپذیری، شکل گیری مفصل پلاستیک و جذب انرژی اتصالات تیر فولادی و ستون بتنی تأثیر کمی دارد و اتصالات تقریباً رفتار مشابهی از خود نشان می دهند. در مورد بارپذیری اتصالات، با افزایش ضخامت سخت کننده مقدار ماکزیمم نیروی بدست آمده در اتصالات حدود ۱ تا ۲ درصد افزایش نشان داد. همچنین با افزایش ۵۰ و ۱۰۰ درصدی در



ضخامت سخت کننده میزان جذب انرژی اتصال با سخت کننده قطری به ترتیب ۵ و ۳/۵ درصد و سخت کننده موازی به ترتیب ۱/۵ و ۲/۵ درصد نسبت به ضخامت ۱۰ میلی متر افزایش نشان می دهد.

۶- افزایش ضخامت کاورپلیت باعث افزایش میزان خرابی در بتن چشمه اتصالات گردید اما مشاهده شد که میزان خرابی در اتصال با سخت کننده موازی به مراتب کمتر از سخت کننده قطری می باشد.

۷- افزایش ضخامت کاورپلیت باعث افزایش بارپذیری و شکل پذیری اتصالات با سخت کننده موازی و قطری گردید و موجب بهبود نحوه شکل گیری مفصل پلاستیک در اتصالات شد. بطوریکه با افزایش ۵۰ و ۱۰۰ درصدی در ضخامت کاورپلیت بارپذیری اتصال با سخت کننده موازی به ترتیب ۲۰ و ۳۷ درصد و سخت کننده قطری به ترتیب ۱۲ و ۱۰ درصد نسبت به ضخامت ۱۰ میلی متر افزایش می یابد. همچنین میزان جذب انرژی اتصال با افزایش ۵۰ و ۱۰۰ درصدی ضخامت کاورپلیت، در اتصال با سخت کننده موازی به ترتیب ۳۷ و ۵۳ درصد و در سخت کننده قطری به ترتیب ۱۳ و ۱۶ درصد افزایش یافت. مشاهده شد که اثر مثبت افزایش ضخامت کاورپلیت در اتصالات با سخت کننده موازی بیشتر از سخت کننده قطری می باشد. اما مقایسه این تغییرات براساس نوع سخت کننده نشان داد که در ضخامت های ۱۰، ۱۵ و ۲۰ میلی متر کاورپلیت، در سخت کننده قطری مقدار ماکزیمم نیرو به ترتیب ۳۰، ۲۷ و ۸ درصد و مقدار جذب انرژی به ترتیب ۳۵، ۱۲ و ۲/۵ درصد بیشتر از سخت کننده موازی می باشد.

به طور کلی سخت کننده های موازی اثر محصور کنندگی بهتری نسبت به سخت کننده های قطری از خود نشان می دهند و در رفتار چشمه اتصال مؤثرتر هستند اما عملکرد سخت کننده های قطری از لحاظ مقاومت و شکل گیری مفصل پلاستیک در اتصال بهتر از سخت کننده موازی می باشد. افزایش ضخامت سخت کننده باعث بهبود رفتار چشمه اتصالات به ویژه بتن چشمه اتصال و کاهش خرابی آن می شود و افزایش ضخامت کاورپلیت عملکرد اتصالات را از لحاظ مقاومت و شکل گیری مفصل پلاستیک بهبود می بخشد. با توجه به نتایج بدست آمده می توان پیشنهاد کرد که، استفاده از سخت کننده موازی به همراه کاورپلیت با ضخامت بیشتر از تیر فولادی، به منظور اتصال تیر فولادی به ستون بتنی، می تواند نتایج مطلوب تری را از لحاظ مقاومت، شکل پذیری و رفتار چشمه اتصال بدست دهد.

## سیاسگزار

نویسندگان این مقاله از آقای هیروشی ناگوچی (Hiroshi Noguchi) عضو محترم انجمن علم و تکنولوژی شیزوکای ژاپن (Shizuoka Institute of Science and Technology) بخاطر راهنمایی هایشان در به نتیجه رسیدن این تحقیق کمال تشکر و قدردانی را دارند.

## مراجع

[1] Cheng, C. T., Chen, C. C. (2004). "Test and Behavior of Steel beam and Reinforced Concrete column Connections". 13 th World Conference on Earthquake Engineering Vancouver, B.C., Canada, Paper No. 422.

[2] Alizadeh, S., Attari, N., Kazemi, M.T. (2013). "The seismic performance of new detailing for RCS connections", Elsevier, Journal of Constructional Steel Research 91:pp. 76-88.

[3] Jami, H., Abbaszadeh Shahri, A., Dashti, H. (2012). "A Feasibility Study on Combined RCS Moment Frames with Concrete and Steel Frames in Upper Level Management", Life Science Journal- Acta Zhengzhou University Overseas Edition 9.4, pp. 3515-3521.

[4] Sheikh, T. M. (1987). "Moment connections between steel beams and concrete columns", PhD Thesis, The University of Texas at Austin, Austin, USA.

- [5] Sheikh, T. M., Deierlein, G. G., Yura, J. A., Jirsa, J. O. (1989). "Beam-column moment connections for composite frames", part 1. J Struct Eng ASCE, 115(11);pp.2858-76.
- [6] Deierlein, G.G. (1988). "Design of moment connections for composite framed structures", PhD Thesis, The University of Texas at Austin, Austin, USA.
- [7] Deierlein, G. G., Sheikh, T. M., Yura, J. A., Jirsa, J. O. (1989). "Beam-column moment connections for composite frames", part 2. J Struct Eng ASCE; 115(11), pp.2877-96.
- [8] Nishiyama, I., Kuramoto, H., Noguchi, H. (2004). "Guidelines: seismic design of composite reinforced concrete and steel buildings", J Struct Eng ASCE; 130(2), pp. 336-42.
- [9] Wahalathantri, B. L., Thambiratnam, D. P., Chan T. H. T., Fawzia, S. (2011). "A material model for flexural crack simulation in reinforced concrete elements using abaqus". Queensland University of Technology, Brisbane, pp. 260-264.
- [10] Parra-Montesinos, G. J., Wight, J. K. (2000). "Seismic response of exterior RC column-to steel beam connections". Journal of Structural Engineering, ASCE 126(10), pp. 1113-21.
- [11] ACI-318M-11. (2011). "Building Code Requirements for Structural Concrete", an ACI Standard and Commentary.